

Polímeros para elaborar la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar

Polymers to develop the artificial seed CP-54 sugarcane

Geiner Francisco Álvarez Sánchez¹, Sergio Salgado García^{2*}, Samuel Córdova-Sánchez¹, Mepivoseth Castelán-Estrada², Hipólito Ortiz-Laurel³, Rubén García de la Cruz², Raúl Castañeda Ceja¹

¹Académica de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Popular de la Chontalpa. H. Cárdenas, Tabasco, México. Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS.

²Áreas de Ciencia Ambiental y Vegetal. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México. Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS. email: salgados@colpos.mx

³ Área de Mecanización Agrícola. Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. 94946 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS.

Resumen

La siembra mecanizada de precisión de la caña de azúcar se ha visto retrasada debido a las fallas de germinación ocasionadas en el proceso de siembra. El objetivo del estudio fue evaluar diferentes polímeros y cultivares para elaborar la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar, y determinar que tratamiento presenta las mejores propiedades de resistencia y protección. El experimento se estableció con un diseño factorial 3x4: tres cultivares (Méx 69-290, Méx 68-P-23 y CP 72-2086) y cuatro polímeros (almidón, grenetina, poliácido de sodio y alginato de sodio), generando 12 tratamientos que se realizaron con 50 repeticiones. Las yemas fueron extraídas manualmente de los tallos con una segueta, el tamaño de la yema fue de 55 mm para asegurar las reservas nutritivas para la plántula, fueron desinfectadas por inmersión. Cada cultivar se encapsuló con cada uno de los polímeros, y se dejaron secar durante 72 h a la sombra. Las variables de estudio fueron estado físico de la semilla, prueba de resistencia al movimiento y de resistencia reológica. Estado físico del encapsulado, Méx 68-P-23 y CP 72-2086 presentaron el mejor estado físico con 83 y 78%, y los encapsulados con almidón y alginato de sodio presentaron un estado físico > 94%. Resistencia al movimiento, Méx 68-P-23 presentó mejor resistencia en el encapsulado con 74%, en comparación con los cultivares Méx 69-290 y CP 72-2086, y los encapsulados con almidón y alginato de sodio presentaron una resistencia > 91%. Prueba reológica, Méx 68-P-23 y CP 72-2086, requieren de un esfuerzo > 3.43 kg/cm² para romper el encapsulado, y los encapsulados con almidón y alginato de sodio requieren de una fuerza > 3.98 kg/cm² para romperse. El almidón y el alginato de sodio permiten elaborar una semilla artificial de caña de azúcar con resistencia para ser depositada en el suelo con sembradora.

Palabras clave: *Saccharum officinarum* L, semilla artificial de caña de azúcar, siembra mecanizada de precisión.

Abstract

Precision mechanized planting of sugarcane has been delayed due to failures caused germination in the planting process. The objective of the study was to evaluate different polymers and cultivars to develop artificial seed CP-54 sugarcane, and determine which treatment has the best properties of strength and protection. The experiment was established with factorial design 3x4: three cultivars (69-290 Mex, Mex 68-P-23 and CP 72-2086) and four polymers (starch, gelatin, sodium polyacrylate and sodium alginate), generating 12 treatments which they were performed with 50 repetitions. Buds were removed manually from the stems with a blade, the size of the buds was 55 mm to ensure nutrient reserves for seedling

were disinfected by immersion. Each cultivar was encapsulated with each polymer and allowed to dry for 72 hours in the shade. The study variables were Physical Fitness seed, resistance test and rheological resistance movement. Form encapsulation, Mex 68-P-23 and CP 72-2086 presented the best physical condition with 83 and 78%, and encapsulated with starch and sodium alginate presented a physical state > 94%. Resistance to movement, Mex-68 P-23 showed better resistance in encapsulated with 74%, compared to 69-290 Méx cultivars and CP 72-2086, and encapsulated with starch and sodium alginate showed a resistance > 91%. Rheological test, Mex-68 P-23 and CP 72-2086, require an effort > 3.43 kg / cm² to break the encapsulation, and encapsulated with starch and sodium alginate require strength > 3.98 kg / cm² to break. Starch and sodium alginate develop an artificial seed allow sugar cane resistant to be deposited on the soils with seeder

Keys words: *Saccharum officinarum* L, artificial seed sugar cane, mechanized planting precision.

Introducción

En México la industria azucarera es históricamente una de las más importantes, debido a su relevancia económica y social en el campo (Salgado *et al.* 2013). Para el manejo agronómico y cosecha de la caña de azúcar, se requiere de maquinaria agrícola para cada propósito. Respecto a la siembra, ésta es una actividad semi-mecánica al combinar operaciones manuales y mecanizadas; el surcado, el tapado de las semillas, la aplicación de insecticidas y fertilizantes, se efectúan mecánicamente, mientras que el corte de la semilla, su distribución en el surco, y comúnmente el retape son tareas manuales (Viveros *et al.* 1995; Salgado *et al.* 2013).

Dicha mano de obra utilizada en el sistema semi-mecánico es cada vez más costosa y difícil de conseguir, lo que indica la necesidad de una operación totalmente mecánica cuya ventaja principal es la reducción de mano de obra y costos de operación. Sin embargo, con más de tres décadas de experiencia, aún no se ha logrado reducir la cantidad de yemas requeridas y lograr la eficiencia de una siembra mecanizada, que debido a un manejo deficiente de las sembradoras, las yemas sufren daños que afectan la germinación hasta 38%. (Salgado *et al.* 2009; Rípoli y Rípoli 2010).

La tecnología de las semillas artificiales ha demostrado ser una estrategia viable para la conservación y propagación de semillas para fines comerciales, permitiendo el manejo de los recursos naturales de forma sustentable. El término semilla artificial describe generalmente a un embrión somático, encapsulado con una cubierta sintética que lo protege del ambiente y daños mecánicos, además la cubierta debe aportar nutrientes y ser lo suficientemente blanda para permitir la germinación, y el intercambio gaseoso para la respiración del embrión (Morales y Cano 2012). El objetivo de este trabajo fue elaborar la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar utilizando polímeros para proteger a la yema de los posibles daños mecánicos durante su manipulación.

Metodología

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de fisiología vegetal del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, la tercera semana de agosto de 2014. Las muestras de caña se tomaron en plantaciones de caña de azúcar de ocho meses de edad, localizadas en el poblado C-34 (ingenio Pdte. Benito Juárez García) del municipio de Huimanguillo Tabasco, con coordenadas geográficas: 17° 58' 16" N, -93° 37' 30" W.

Para lograr la obtención de un encapsulado óptimo que le brinde resistencia a la yema sin afectar su germinación, se estableció un diseño factorial 3x4: tres cultivares (Méx 69-290, Méx 68-P-23 y CP 72-2086) y cuatro polímeros (almidón, grenetina, poliacrilato de sodio y alginato de sodio). La combinación

de estos factores generó 12 tratamientos, que se evaluaron con un diseño completamente al azar con 50 repeticiones cada una.

Obtención de las yemas de caña de azúcar. Con el uso de un machete se cortaron los tallos de caña de azúcar de los tres cultivares ya mencionados, de aproximadamente 8 meses de edad. Con el uso de una segueta se cortaron trozos de tallos con yemas de 35 mm de longitud, que debían contar con 25 mm de reserva de la cicatriz hacia abajo y de 15 mm en la parte superior, para que la banda de raíces y la yema, no se dañaran.

Desinfección de trozos de tallos con yemas. Las yemas fueron desinfectadas en una solución de Malathión 50 EC (Agroquímica Tridente) al 0.1% (2 mL/L de agua) y Carbendazim (Prozycar® 500) al 0.1% (1 mL/L de agua). Se sumergieron las yemas en la solución durante 10 minutos y posteriormente se dejaron secar por 10 minutos.

Encapsulado de las yemas de caña de azúcar. Se realizó a partir de cuatro polímeros:

Almidón. Se utilizaron 100 g de fécula de maíz (Maizena®) y 1 L de agua. En una parrilla eléctrica (modelo Cimarec, Thermo scientific, USA) se colocó un vaso de precipitado (KIMAX®, USA) con 750 mL de agua para calentarla. La fécula de maíz se disolvió con 250 mL de agua en un vaso de precipitado, a esta mezcla se le agregaron los 750 mL de agua caliente, y se agitó hasta homogeneizarla. Se pesaron 400 g de paja molida seca, en un vaso de plástico utilizando una balanza granataria (modelo TJ611, OHAUS®, México). Se colocó la paja molida en una bandeja de plástico y se le adicionó la mezcla de almidón para formar una pasta. Con la pasta se cubrieron las yemas manualmente hasta darles la forma de una cápsula y se colocaron en una bandeja de plástico para dejarlos secar durante 72 horas a la sombra. El grosor del encapsulado fue de aproximadamente 5 mm.

Grenetina. Se mezclaron 250 g de grenetina (Duche®) con 1 L de agua en un vaso de precipitado. A esta mezcla se le aplicó calor utilizando una parrilla eléctrica para eliminar los grumos y homogeneizarla. Cuando la mezcla se homogeneizó, se retiró del calor para reducir su temperatura a 32°C, con la finalidad de evitar que el calor de la mezcla dañara la yema. En una bandeja de plástico se vertió la mezcla de grenetina y se le agregaron 100 g de paja molida seca para formar una pasta. Las yemas se sumergieron en la mezcla de grenetina con paja y se colocaron en una bandeja de plástico para cubrirlas adicionalmente con paja molida. Los encapsulados se dejaron secar en una bandeja de plástico durante 72 horas a la sombra. El grosor del encapsulado fue de aproximadamente 5 mm.

Poliacrilato de sodio. Se mezclaron 400 mL de resistol blanco (Bully®) con 100 mL de agua en un vaso de precipitado, las yemas se cubrieron manualmente con esta mezcla y se colocaron en una bandeja de plástico para cubrirlas con poliacrilato de sodio (SIGMA-ALDRICH®). Los encapsulados se dejaron secar en una bandeja de plástico durante 72 horas a la sombra. El grosor del encapsulado fue de aproximadamente 5 mm.

Alginato de sodio y cloruro de calcio. Se mezclaron 20 g de alginato de sodio (MEYER®) con 1 L de agua en un vaso de precipitado, agitando constantemente para evitar la formación de grumos. De igual manera se mezclaron 112 g de cloruro de calcio (J.T. Baker®) con 1 L de agua en un vaso de precipitado. En el vaso de precipitado que contenía la mezcla de alginato de sodio se agregaron 300 g de paja molida seca para formar una pasta. Con la pasta se cubrieron las yemas manualmente hasta darles la forma de una cápsula. Las cápsulas se sumergieron en la solución de cloruro de calcio por 5 minutos, para la solidificación del polímero y posteriormente se colocaron en una bandeja de plástico para dejarlos secar durante 72 horas a la sombra. El grosor del encapsulado fue de aproximadamente 5 mm.

Variables de estudio

Estado físico de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar. Para su evaluación se realizó un análisis visual del estado físico de los encapsulados después de 72 horas de reposo, utilizando la siguiente escala; 1: Estado físico íntegro sin deformaciones ni alteraciones, 0: Encapsulado con desprendimiento de la cubierta, procesos de germinación o crecimiento de hongos. Solo los encapsulados en buen estado fueron aptos para realizarles la prueba de resistencia al movimiento y la prueba de resistencia reológica.

Prueba de resistencia al movimiento. Los encapsulados se colocaron en una charola de plástico, la cual se movió de un lugar a otro en 10 ocasiones, simulando el movimiento que se lleva a cabo durante el proceso de siembra. Se realizó la evaluación con la siguiente escala; 1: Encapsulados en buen estado, 0: Encapsulados que sufrieron pérdida parcial o total de su recubrimiento.

Prueba de resistencia reológica. Con un penetrómetro de bolsillo (modelo E-280, AMS®, USA) se ejerció fuerza sobre el centro de los encapsulados hasta romperlos o deformarlos y se registró el dato del esfuerzo necesario (kg/cm^2) para romper o deformar cada encapsulado.

Análisis estadístico. Para todas las variables se realizó el análisis de varianza con el diseño completamente al azar, y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, usando el paquete SAS versión 9.3.

Resultados y discusión

Estado físico de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar. De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, con respecto al factor cultivar se encontró que los cultivares Méx 68-P-23 y CP 72-2086 presentaron mejor estado físico del encapsulado (83 y 78% respectivamente), que el cultivar Méx 69-290 que obtuvo una media de 76% (Tabla I).

En cuanto al factor polímero se observó que los encapsulados con almidón, alginato de sodio y poliacrilato de sodio presentaron mejor estado físico (95, 94 y 100% respectivamente) en comparación con el encapsulado de grenetina (26%), ya que este último resultó un encapsulado frágil y sin consistencia, por lo que se descarta para este propósito (Figura 1).

La interacción cultivar-polímero (C-P), nos indica que el mejor estado físico se observó en los encapsulados de almidón, poliacrilato de sodio y alginato de sodio (Figura 1), corroborando lo encontrado por Salgado *et al.* (2009) para el encapsulado con almidón.

Resistencia al movimiento. Para el factor cultivar se encontró que la Méx 68-P-23 presentó mejor resistencia en el encapsulado (74%) en comparación con los cultivares Méx 69-290 y CP 72-2086 (71%) (Tabla II). El efecto polímero indica que los encapsulados con almidón, poliacrilato de sodio y alginato de sodio presentaron la mayor resistencia al movimiento (91, 100 y 89% respectivamente), en comparación con el encapsulado con grenetina (Tabla II), ya que este último resultó frágil y sin consistencia, corroborando lo observado en el estado físico.

El encapsulado con poliacrilato de sodio, generó apelmazamiento al ser pegajoso, condición que dificultaría la distribución de la semilla artificial durante la siembra mecanizada, por lo cual se descarta para este propósito. No se encontró artículos sobre la evaluación de la resistencia al movimiento de semillas artificiales de caña de azúcar, por lo que este trabajo puede considerarse pionero en su tipo.

Tabla I Estado físico de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar.

Polímeros	Méx 69-290	Méx 68-P-23	CP 72-2086	Media polímero (%)
Almidón	1.00	0.96	0.90	0.95 a [†]
Poliacrilato de sodio	1.00	1.00	1.00	1.00a
Alginato de sodio	0.94	0.96	0.94	0.94 ^a
Grenetina	0.12	0.40	0.28	0.26b
Media cultivar (%)	0.76 b [‡]	0.83 a	0.78 ab	0.79%
CV (%)	33.4			
Prob. F				
Cultivar (C)	0.03*			
Polímero (P)	0.01**			
Int (C-P)	0.01**			
DSM (C)	0.06 NS			
DSM (P)	0.07 NS			

*Efecto significativo, ** Efecto altamente significativo, NS: no significativo

[†]Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

[‡]Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

Tabla II. Prueba de resistencia al movimiento.

Polímeros	Méx 69-290	Méx 68-P-23	CP 72-2086	Media polímero (%)
Almidón	1	0.95	0.8	0.91 a [†]
Poliacrilato de sodio	1	1	1	1 a
Alginato de sodio	0.84	0.92	0.92	0.89 a
Grenetina	0	0.12	0.12	0.08 b
Media cultivar (%)	0.71 a [‡]	0.74 a	0.71 a	0.72%
CV (%)	35.8			
Prob. F				
Cultivar (C)	0.5 NS			
Polímero (P)	0.01**			
Int (C-P)	0.06 NS			
DSM (C)	0.08			
DSM (P)	0.1			

*Efecto significativo, **Efecto altamente significativo, NS no significativo

[†]Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).

[‡]Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey ($P \leq 0.05$).



a) Encapsulados con almidón.



b) Encapsulados con poliacrilato de sodio.



c) Encapsulados con alginato de sodio



d) Encapsulados con grenetina

Figura 1. Detalles de la semilla artificial CP-54 de caña de azúcar después de 72 horas de reposo.

Prueba de resistencia reológica. De acuerdo a los resultados del análisis de varianza, con respecto al factor cultivar se encontró que los cultivares Méx 68-P-23 y CP 72-2086, requieren de un esfuerzo mayor de 3.48 kg/cm² y 3.43 kg/cm² respectivamente, en comparación al cultivar Méx 69-290 que mostró una de resistencia de 3.28 kg/cm² (Tabla III).

En cuanto al factor polímero se observó que los encapsulados con almidón, poliacrilato de sodio y alginato de sodio presentaron una mayor resistencia reológica (3.98, 4.5 y 4.27 kg/cm² respectivamente), en comparación al encapsulado con grenetina que mostró una resistencia de 0.84 kg/cm², este último resultó un encapsulado frágil, por lo cual se descarta para este propósito (Tabla III).

Tabla III. Prueba de resistencia reológica

	Méx 69-290	Méx 68-P-23	CP 72-2086	Media polímero (kg/cm ²)
Almidón	4.16	3.78	4.00	3.98b [†]
Poliacrilato de sodio	4.50	4.50	4.50	4.50a
Alginato de sodio	4.24	4.32	4.26	4.27ab
Grenetina	0.22	1.32	0.98	0.84c
Media cultivar (kg/cm ²)	3.28 a [‡]	3.48 a	3.43 a	3.39%
CV (%)	30.06			
Prob. F				
Cultivar (C)	0.34*			
Polímero (P)	0.01**			
Int (C-P)	0.02*			
DSM (C)	0.34			
DSM (P)	0.433			

*Efecto significativo, **Efecto altamente significativo, NS no significativo

[†]Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey (P ≤ 0.05).

[‡]Medias con la misma literal en la columna son iguales estadísticamente según Tukey (P ≤ 0.05).

Conclusiones

El mejor estado físico de la semilla artificial de caña de azúcar se obtuvo en los cultivares Méx 68-P-23 y CP 72-2086 encapsulados con los polímeros almidón, alginato de sodio y poliacrilato de sodio.

La prueba de resistencia al movimiento mostro que los cultivares Méx 68-P-23 y CP 72-2086 encapsulados con almidón, poliacrilato de sodio y alginato de sodio presentaron la mayor resistencia, una característica deseable para la protección de las yemas durante el proceso de siembra mecanizada.

La prueba de resistencia reológica, indicó que los cultivares Méx 68-P-23 y CP 72-2086 encapsulados con almidón, alginato de sodio y poliacrilato de sodio, presentaron la mayor resistencia al tener leves desprendimientos del encapsulado, lo que permite mantener su propiedad de protección. El poliacrilato de sodio, a pesar de tener una excelente resistencia reológica, generó apelmazamiento, lo cual impediría la distribución de las semillas durante la siembra mecanizada por lo que se descarta para dicho propósito. En el caso de la grenetina, esta resultó frágil y sin consistencia, por lo cual se descarta como material encapsulante.

La mejor semilla artificial CP-54 de caña de azúcar se obtuvo con los cultivares Méx 68-P-23 y CP 72-2086 encapsulados con almidón y alginato de sodio, los cuales, otorgan las características adecuadas de resistencia y protección a las yemas de caña de azúcar (CP, 2015).

Agradecimientos

Al Grupo MASCAÑA-LPI-2: AESS del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por el apoyo económico y las facilidades del Laboratorio Central de Investigación para realizar el proyecto de tesis¹.

Referencias

- Morales MEJ, Cano SJS.(2012). Semillas sintéticas. El campo del futuro. *Revista Ciencia y Desarrollo*. CONACYT. Edición Marzo-Abril 2012. México. 16-21.
- Rípoli MCL, Rípoli CCT.(2010). Evaluation of five sugarcane planters. *Eng. Agríc. Jaboticabal*, 30(6): 1110-1022.
- Salgado GS, Ortiz LH, Castelán EM, Córdova SS, Álvarez SGF, Arias CHL. (2015). Semilla artificial de caña de azúcar. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco Solicitud MX/E/2015/049475.
- Salgado GS, Lagunes ELC, Núñez ER, Ortiz GCF, Bucio AL, Aranda IEM. (2013). *Caña de azúcar: Producción sustentable*. BBA, Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México, D.F.
- Salgado GS, Pons M, Salaya J, Villegas M, Ramos E, Alejo E. 2009. Evaluación preliminar de la capacidad de sobrevivencia de las plántulas de caña de azúcar. In: Memorias de la XXXII Convención de la ATAM. Jalapa, Veracruz. 1-6.
- Viveros CA, Calderón H. 1995. Siembra. En Cenicaña. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali. Cenicaña. 131-139.